

N° Ordre.....FSI/UMBB/2013

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA - BOUMERDES
FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
Département : Génie Des Matériaux**



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme Master II

Spécialité : Génie des Matériaux

Option : MCD

THEME

**Etudes des Caractérisations d'un Bitume Modifié
par des Polymères**

Réalisé Par :

Ais Amir

Yousfi Mimi Houria

Encadré par :

Benotmane. B

Hebouche. I

Boumerdès 2016 /2017

Résumé :

Le bitume 40/50 NAFTAL. Un matériau thermoplastique visqueux, de couleur noir, solide à température ambiante. Pour qu'il s'adapte aux voies routières supportant des trafics très lourds et canalisés avec des températures durables élevées il a été modifié par l'ajout des différents types de polymères de synthèse.

Ce travail a permis de déterminer la classe de bitume modifiée selon des essais de caractérisations qu'ils ont été effectués après une modification du bitume à différents dosages de polymères.

Abstract :

The bitumen 40/50 NAFTAL. A viscous, black thermoplastic material that is solid at room temperature. In order for it to be adapted to roadways supporting very heavy traffic and channeled with high long-lasting temperatures it was modified by the addition of different types of synthetic polymers.

This work made it possible to determine the modified bitumen class according to characterization tests that were carried out after a modification of the bitumen at different polymer dosages.

ملخص

الزفت 50/40 نفتال مادة لزجة بالحرارة، من اللون الأسود، صلبة في درجة حرارة الغرفة. لا كنها غير مناسبة للطرق حمل ثقيل جدا وتوجيه حركة المرور مع ارتفاع درجات الحرارة دائمة تم تعديله بإضافة أنواع مختلفة اللبدييات المركبة يحدد هذا العمل التغييرات الدرجة القار وفقا للاختبارات الأوصاف التي تم إجراؤها بعد تعديل القار مختلفة اللبديياتالجرعة

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous tenons à rendre grâce à DIEU, de nous avoir donné la force et la santé afin que nous puissions accomplir ce travail

Tous nos remerciements :

- ❖ A notre encadreur Monsieur BENATOMENE.B de bien vouloir nous encadrer pour la réalisation de ce travail, et pour sa présence et ses conseils.
- ❖ Grand remerciement à notre encadreur Monsieur HEBOUCHE IDIR chef de service de norme et spécification et Monsieur RAFIK NAIT SAID le directeur de Naftal bitume, et toutes les personnes de la société
- ❖ Notre reconnaissance à Monsieur SENHADJI et à l'équipe du laboratoire central des travaux publics (LCTP) pour leur aide, ce travail n'aurait pu obtenir sans une réalisation parfaite des échantillons
- ❖ À Monsieur BOUABDELAH chef de centre Alger de bitume de nous avoir fournis le bitume 40/50
- ❖ On n'oublie pas de remercier Monsieur MAKSEN AMINE, étudiant en doctorat, pour son aide au long de ce travail.
 - ❖ À tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes parents qu'ils ont contribués à
ma réussite le long de mon existence

A mon frère et ma sœur

A mon oncle qu'il m'a beaucoup aidé

Et à mes grandes familles

A mes copains

AIS AMIR

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à beau-frère Dr. Terrak Hamid qui
m'a pris en charge durant ses cinq ans et ma sœur adorée
AMINA et mes deux anges SIDAHMED et WAHIBA
A mes deux chers amis RIAD et IMADELDIN pour leur
soutien

Pour mes meilleures que j'aime, je n'arrive pas à exprimer
mes sentiments envers elles, que dieu les protège pour moi «
AMIRA-ASMA-IKRAM-NABILA et SARAH »

Sans oublier mon Binôme AMIR

Tous mes camarades

YOUSFI MIMI



L'Algérie, à l'instar d'autres pays émergents, connaît aujourd'hui une croissance et un développement de ses activités économiques qui font, que la demande en différents produits énergétiques et on forte progression.

De ce fait, la Société Nationale NAFTAL, leader sur le marché algérien, est chargée de la distribution et de la commercialisation des produits pétroliers dont **le Bitume**, matière essentielle pour la construction routière, les travaux d'étanchéité et d'isolation (BTP sur le marché national).

NAFTAL, avec son expertise est devenue un fournisseur incontournable pour les grands projets de travaux publics et assure un service global sur toute la chaîne logistique depuis la source d'approvisionnement jusqu'au chantier garantissant ainsi une qualité irréprochable.

NAFTAL est certifiée par des organismes de contrôle (Laboratoire Central des Travaux Publics LCTP) agréés par le ministère des travaux publics.

REPRESENTATION DE NAFTAL :

NAFTAL est une société algérienne, filiale à 100% de SONATRACH. Elle a pour mission la distribution des produits pétroliers sur le marché algérien.

L'équipe bitume de la branche commercialisation :

Une direction bitume :

En charge de l'approvisionnement, de l'exploitation, de la promotion et la vente des produits bitumineux, selon les normes et spécifications internationales requises.

Une direction nationale :

En charge de la maintenance du matériel roulant et des installations, des études et le développement technologique de l'activité.

Quinze centres opérationnels :

Dont six centres portuaires Alger, Oran, Mostaganem, Bejaia, Skikda, et Annaba. Dotés d'installations des stockages, pourvoyant ainsi à la demande de la marche nationale

La gamme des produits commercialisés par NAFTAL bitume :

- Bitume pur : 40/50.
- Bitume Oxydé: 85/25.
- Cut-backs: 0/1, 150/250, 400/600.
- Emulsions de bitume: ECR 65%, ECE 65%, ECR 60%, ECE 60%.
- Bitume modifié 10.40/50

NAFTAL, des solutions qui tiennent la route

Chapitre I

Introduction :.....	3
I-1 Fabrication et classification :.....	3
I-2 Types de bitumes :.....	5
I-2-1 Les bitumes purs :	5
I-2-2 Les cut-backs :.....	5
I-2-3 Les émulsions :.....	5
I-3 la structure chimique des bitumes :	6
I-4 Les bitumes modifiés :.....	9
I-4-1 les additifs :	10
I-5 Les polymères.....	13
I-5-1 Copolymères :	14
I-6 la microstructure des polymères amorphe	14
I-6-1 Polymères thermoplastiques :.....	14
I-6-2 Polymères thermodurcissables :	14
I-6-3 Élastomères :	15
I-6-3-1 Les élastomères thermoplastiques :	15
Les élastomères thermoplastiques sont :	15
I-7 Les copolymères SBS :.....	16
I-8 : Domaines d'utilisation :	16
I-9 : Fabrication des bitumes modifiés avec des polymères (BMP):	17
I-10 : Le mécanisme de la modification des bitumes aux polymères :.....	17
I-10-1 : comment le polymère est incorporé avec les maltènes	17
I-10-2 comment les polymères SBS sont incorporés en asphalte	18
I-11 : Compatibilité bitume-polymère.....	20

Chapitre II

II-1 Identification du bitume polymère :	22
II-1-1 le bitume :	22
II-1-2 Le bitume modifié.....	22
II-1-3 Les polymères utilisés :.....	23
II-1-3-1 Styrène –butadiène -styrène (SBS).....	23
II-1-3-2 Poly (Ethylene –Co –Butadiene -Acrylate) (EBA)	23
II-2 Méthodes de caractérisation physique mécanique des bitumes-polymères	24
II-2-1 : L’essai Pénétrabilité a l’aiguille d’un produit bitumineux (NF EN 1426) :	24
II-2-1-1 : Définition :.....	24
II-2-1-2 Mode opératoire :	25
II-2-2 : L’essai du point de ramollissement (Méthode de bille et anneaux) Norme NF EN 1427 JUILLET 2007	26
II-2-2-1 Définition :.....	26
II-2-2-2 Mode opératoire :.....	26
II-2-3 : L’essai de ductilité (NA 5223):.....	29
II-2-3-1 Définition :.....	29
II-2-4 L’essai de Retour élastique (EN 13398)	30
II-2-4-1 Définition :.....	30
II-2-4-2 Mode opératoire :.....	30
II-2-5 Essai Fraass (EN 12593) :.....	33
II-5-1 Définition	33
II-2-6 Stabilité au stockage NF EN 13399 Mai 2010 :.....	33

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I-1 : Schéma de procédé de fabrication des bitume.....	3
Figure I- 2 :Schématisation de l'analyse de SARA.....	6
Figure I-3 :structure « SOL» « GEL ».....	8
Figure I- 4 :Résultats d'analyse de S.A.R.A sur le bitume40/50 (NAFTAL).....	9
Figure I-5 :à gauche bitume pur et à droite bitume modifier aux polymères	10
Figure I-6 :image microscope de bitume modifiées a différentes dosages de SBS.....	12
Figure I-7 :image au microscope de bitume modifiée a différentes dosages d'EVA..	13
Figure I- 8 : Configuration des molécules de SBS	16
FigureI- 9 :Structure du caoutchouc thermoplastique SBS	16
Figure I-10 : mécanismes de la dispersion d'un copolymère dans le bitume.....	18
Figure I-11 :A gauche système compatible avec 4% de SBS. A droite système incompatible avec 4% de SBS	20

Chapitre II

Figure II-1 : Bitume à température ambiante	22
Figure II-2 : SBS Italie	23
Figure II-3 : SBS Espagne	23
Figure II-4 : Le plastomère EBA	24
Figure II-5 :Dispositif de mesure de la pénétrabilité.....	25
Figure II-6 :Mesure de température de mélangé (188 °c	25

Figure II-7: Gobelets remplis de bitume-polymère.....	25
Figure II-8: Refroidissement du bitume-SBS dans un bain marie.....	26
Figure II-9: L'appareil de point de ramollissement.....	27
Figure II-10 : anneaux remplie de bitume chaud	27
Figure II-11 : Bitume-SBS refroidi.	27
Figure II-12 : Disposition du bitume-SBS sur le guide.....	27
Figure II-13: Chauffage graduel des échantillons de bitume-SBS.....	28
Figure II-14: Affichage de résultats d'essai.	28
Figure II-15 : Flacon de glycérine place dans le dispositif de mesure de point de ramollissement.	29
Figure II-16 : Ductilimetre.	30
Figure II-17: Malaxeur de bitume-SBS.....	30
Figure II-18: Moules pour la confection d'éprouvettes.....	31
Figure II-19: Moule + éprouvette dans un bain marie.	31
Figure II-20: Les éprouvettes placées dans le ductilimètre.	31
Figure II-21: Eprouvettes de bitume étirées jusqu'à un allongement de 200 mm.....	32
Figure II-22: Découpe des échantillons.....	32
Figure II-23: Retour élastique des éprouvettes coupées.....	32
Figure II-24: Eprouvette pour l'essai de stabilité au stockage.	34
Figure II-25: Prélèvement d'éprouvettes pour l'essai de stabilité au stockage.....	35

Chapitre III

Figure III-1 : variation de la pénétrabilité en fonction des pourcentages des polymères.....37

Figure III-2:variation de la TBA en fonction des pourcentages des polymères SBS
.....38

Figure III-3 : variation de retour élastique en fonction des polymères SBS40

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableau I-1: les classes de bitume selon la pénétrabilité et le point de ramollissement **6**

Tableau I-2 : L'analyse élémentaire d'un bitume. **7**

Chapitre II

Tableau II-1 : Résultats effectuée sur bitume NAFTAL..... **22**

Chapitre III

Tableau III-1 : Résultats de point pénétrabilité..... **36**

Tableau III-2 : Résultats de point de ramollissement. **38**

Tableau III-3 : Résultats de retour élastique **40**

Tableau III-4 : Résultats de stabilité au stockage **42**

Introduction Générale

L'utilisation du bitume remonte à l'âge préhistorique ; des traces de bitumes furent retrouvées dans des objets utilisés à ces époques anciennes. Dans le génie civil, Il fut employé à l'état naturel comme agent d'imperméabilisation dans des mortiers. Son usage pour application routière date de l'époque (625-604 av J-C) pendant la dynastie Babylon ou Nabopolassar l'a utilisé pour les routes. Finalement c'est au cours du 19^{ème} siècle que l'utilisation du bitume a évolué vers les techniques routières que l'on voit aujourd'hui. De nos jours, les bitumes sont devenus des matériaux couramment utilisés notamment dans la réalisation des routes et étanchéité des terrasses.

Dans la majorité des cas, les bitumes sont utilisés dans des applications dites « à chaud », où le liant est fluidifié par élévation de la température autour de 160°C, afin d'être mélangé dans des malaxeurs industriels, à des granulats calibrés préalablement séchés [1].

Les propriétés demandées aux bitumes pour garantir des chaussées durables sont généralement antagoniques et sont essentiellement basées sur leurs propriétés rhéologiques.

Parmi les propriétés rhéologiques demandées au bitume :

Il doit d'abord être :

- pompable et maniable à température élevée (vers 160°C).
- suffisamment rigide aux températures élevées de service pour maintenir lesquelette granulaire et limiter le fluage des enrobés, permettant d'éviter ainsi le phénomène d'orniérage qui se manifeste typiquement autour de 50°C, selon le trafic.
- suffisamment mou aux basses températures de service pour permettre aux contraintes de se relaxer et résister ainsi à la fissuration par fatigue ou de retrait thermique.

Ces propriétés sont généralement difficilement conciliables, sinon incompatibles et il est donc difficile d'obtenir un bitume utilisable dans toutes les conditions possibles (climats et trafics).

- En 1938 les recherches d'amélioration des propriétés des bitumes se sont axées sur la modification de sa structure ou l'ajout d'additifs pour garantir des propriétés performantes et répondre aux aléas cités plus haut.

Sachant que le bitume est un liant très difficile à utiliser correctement vue la grande complexité d'apprécier ses qualités techniques, le maintien de revêtements sûrs, confortables et durables sur les autoroutes et routes principales à fort trafic représente depuis longtemps un défi majeur pour les maîtres d'ouvrage et les équipes opérationnelles qui gèrent la construction et l'entretien des routes.

La question de l'allongement de la durée de vie des chaussées routières est une préoccupation essentielle du secteur depuis plusieurs décennies. Les chaussées à longue durée de vie, semblent particulièrement souhaitables, sur les routes à fort trafic pour éviter les coûts des opérations d'entretien qui sont génératrices de contraintes négatives pour la fluidité du trafic routier.

Face à la rude concurrence du marché des bitumes depuis sa libéralisation, l'entreprise (NAFTAL) doit défendre son statut de leader en consolidant ses parts du marché en améliorant la qualité de ses produits et de ses services.

Pour répondre aux exigences de ses clients en matière de qualité, NAFTAL qui est une pionnière du marché du bitume, projette le lancement d'un nouveau produit sur le marché algérien. Ce produit est le bitume modifié aux polymères (BMP).

Dans cette perspective, nous nous sommes penchés sur l'étude des performances physicomécaniques de bitume produit par NAFTAL modifié par trois types de polymères : le styrène-butadiène-styrène en provenance d'Espagne et d'Italie et le plastomère EBA.

Chapitre 1

Introduction :

Le bitume est l'un des premiers matériaux thermoplastiques utilisés par l'homme : la première application dont l'histoire fait mention remonte à 3800 avant J.C. dans le domaine de l'étanchéité. Aujourd'hui la quasi-totalité du bitume joue un rôle essentiel dans la construction, l'entretien des chaussées et l'étanchéité. En effet le bitume doit cette omniprésence à ses propriétés originales et sa polyvalence qui lui permettent de répondre à des conditions d'emploi très différentes. Son pouvoir collant en fait un matériau de construction de première importance bien qu'il n'entre que pour quelques parties dans la composition de la plupart des mélanges bitumineux routiers [1].

I-1 Fabrication et classification :

Les bitumes routiers sont obtenus à partir du résidu, après distillation atmosphérique, du pétrole brut et par combinaisons diverses de procédés et de produits de base selon les bruts et l'utilisation des produits bitumineux. Le schéma ci-dessous résume la fabrication des différents types de bitumes

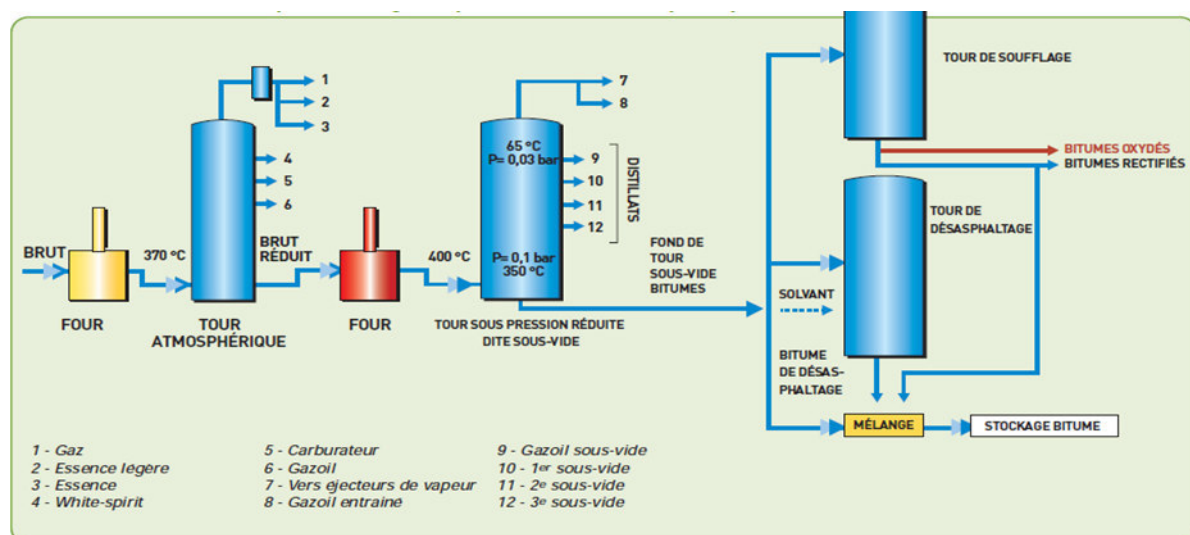


Figure I-1 Schéma de procédé de fabrication des bitume [2]

Il existe différents modes de fabrication des bitumes :

- **Distillation atmosphérique :**

Ce mode de raffinage consiste à chauffer en continu par passage dans un four, le brut préalablement décanté et dessalé. Ce brut, porté à une température voisine de 340 °C, est envoyé dans une colonne de fractionnement maintenue à la pression atmosphérique. Le produit récupéré en fond de tour est le brut réduit [10].

- **Distillation sous-vide :**

A ce stade, le brut réduit provenant de la distillation atmosphérique est, après réchauffage aux alentours de 400 °C, envoyé dans une colonne où règne une pression réduite à quelques dizaines d'hecto-pascale. Il est possible, dans ce type d'unité, de fabriquer directement toutes les classes de bitumes du 20/30 au 160/220 [10].

- **Désasphaltage au solvant :**

La séparation physique des constituants du pétrole brut peut aussi être effectuée sans dégradation de leur structure chimique en mettant à profit les différences de solubilité des fractions lubrifiantes et bitumineuses vis-à-vis de certains solvants.

Le désasphaltage au solvant est employé comme un complément dans le raffinage des "bruts à huile". Il est le plus souvent pratiqué sur le fond de distillation sous-vide, dont il est difficile de séparer complètement les fractions lubrifiantes dans les conditions normales d'utilisation des colonnes sous-vide opérant sur des bruts peu denses. Selon le solvant employé, butane ou propane, on obtient différentes classes de bitume en faisant varier la nature du fond de distillation sous-vide (degré d'épuisement) et les conditions de fonctionnement de l'unité de désasphaltage, notamment la température et la pression. Le bitume ainsi obtenu est appelé bitume PPA (Propan- Precipited-Asphalt). Selon la façon dont est conduite la fabrication du bitume, par distillation ou désasphaltage au solvant, il est possible d'obtenir des bitumes de pénétrabilité plus ou moins élevée. Cette propriété fait partie des deux caractéristiques fondamentales de chaque bitume, avec la température de ramollissement. S'ajoute à cela la susceptibilité à la température et au vieillissement, la cohésivité et l'élasticité qui sont mesurées par des tests spécifiques [10].

I-2 Types de bitumes :

I-2-1 Les bitumes purs :

Ils sont fabriqués par raffinage du pétrole brut (distillation sous vide). On peut utiliser une combinaison de procédés pour produire différents grades (pénétrabilité et points de ramollissement différents) [4]. Le tableau ci-dessous nous montre les différentes classes de bitumes

Tableau I-1 : les classes de bitume selon la pénétrabilité et le point de ramollissement

Classe des bitumes	20/30	40/50	60/70	80/100	180/220
Pénétrabilité à 25°C (1/10mm)	20 à 30	35 à 50	55 à 70	75 à 100	180 à 220
Point de ramollissement (°C)	52 à 65	50 à 56	45 à 31	42 à 48	34 à 38

I-2-2 Les cut-backs :

Ce sont des bitumes fluidifiés, obtenus par un mélange de bitume soit avec des fractions légères de distillation du pétrole telles que le kérosène, soit avec des huiles légères ou plus souvent moyenne, provenant de la distillation de la houille afin de réduire leur viscosité. Ce procédé permet notamment de les utiliser à une température nettement plus basse que celle nécessaire à la mise en œuvre du bitume pur [4].

I-2-3 Les émulsions :

Les émulsions de bitume sont des dispersions de fines particules de bitume dans l'eau, au moyen généralement d'un agent émulsif qui est un type de savon résineux qui stabilise le produit. Les émulsions éliminent les dangers d'incendie et l'effet toxique. Ce n'est pas le cas des cut-backs [4].

I-3 la structure chimique des bitumes :

Le bitume est un composé hydrocarboné de constitution particulièrement complexe. Le tableau ci-dessous montre les constituants de bitume

Tableau I-2 L'analyse élémentaire d'un bitume [1].

Elément	Carbone (%) massique	Hydrogène (%)	Soufre (%)	Azote (%)	Oxygène (%)	Vanadium ppm	Nickel ppm
Teneur	80 à 87	8-12 %	1-9 %	0-1,5 %	0,5-1,5 %	10-2000	20-200

Il est courant de séparer les molécules en différentes familles chimiques par des techniques chromatographiques, Selon leur solubilité dans des solvants polaires, aromatiques ou non polaires, comme dans la méthode des fractions de SARA (Saturés, Aromatiques, Résines et Asphaltènes) : les asphaltènes précipitent dans le n-heptane tandis que les maltènes y sont solubles [1].

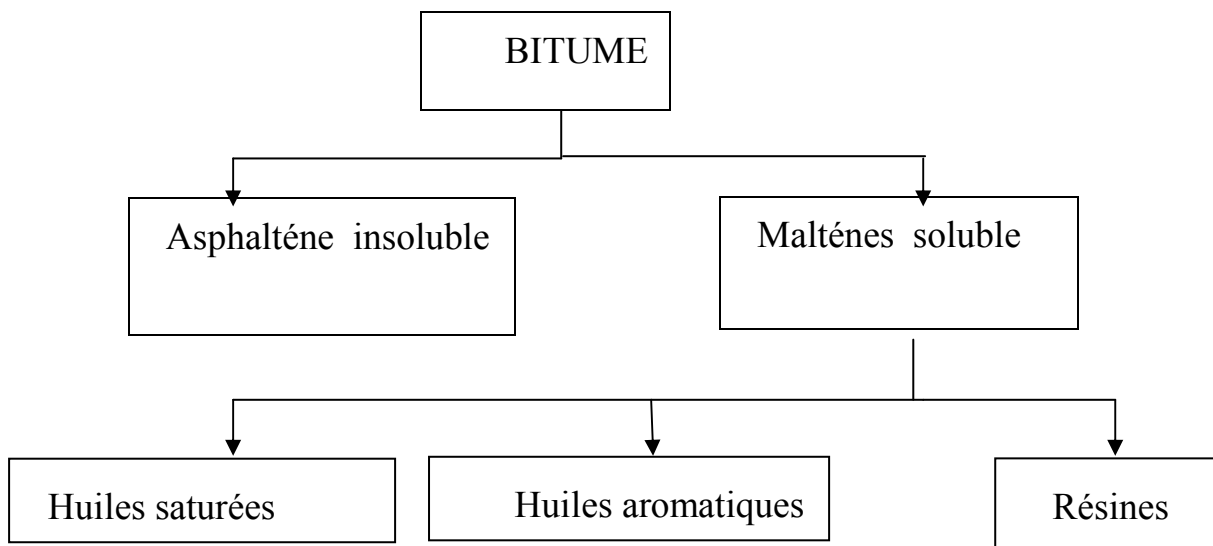


Figure I-2 : Schématisation de l'analyse de SARA

La quantité d'asphaltènes dépend du solvant et du rapport de dilution. Plus le solvant est de poids moléculaire faible, plus la quantité d'asphaltène précipitée est importante. Le solvant le plus utilisé est n-heptane. Après évaporation du solvant, les maltènes se présentent sous forme d'un liquide noir visqueux qui peut être fractionné par chromatographie d'adsorption en hydrocarbures saturés, aromatiques et résine. La phase stationnaire qui est souvent utilisée est l'alumine.

Selon la composition chimique et les concentrations respectives des constituants du bitume, l'équilibre colloïdal va être plus ou moins déplacé et donc va conférer au bitume des comportements rhéologique différente selon la température.

On distingue trois types fondamentaux de structure que KOLBANOSKAJA n'a classé qu'en fonction de la tenure relative des divers constituants (asphaltene, résine et huiles) tandis que DRON ,BESTOUGE ET VOINOVITCH prennent en compte en plus les températures de transition entre les divers états [11].

Structure 1 « SOL » :

Caractérisée par la peptisation totale des micelles d'asphaltènes, par les résines, On obtient ainsi une solution diluée et bien stabilisée d'asphaltènes dans un milieu dispersant structuré par les résines (figure I-3-a), Ceci se rencontre dans les bitumes à phase maltène riches en aromatiques. Ces bitumes ont un comportement visqueux (newtonien).

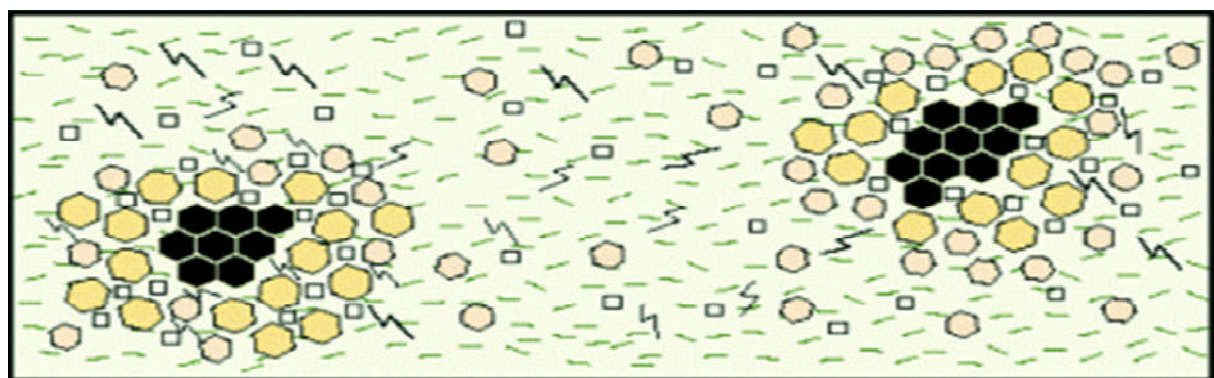
Structure 2 « GEL3 » :

Caractérisée par l'agglomération de micelles d'asphaltènes formant ainsi un réseau continu dans des milieux dispersant faiblement structurés par les résines (Figure I-3-b). Les bitumes a structure gel sont riches en asphaltènes et ont une phase maltène pauvre en hydrocarbures aromatiques. Ils ont un comportement élastique.

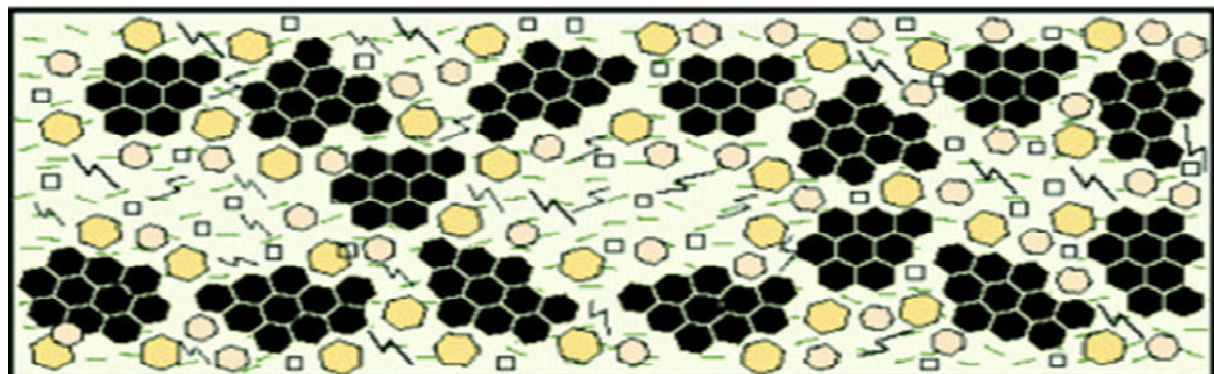
Structure 3 'SOL-GEL :

Caractérisée par des agrégats de micellée d'asphaltènes baignant dans un milieu dispersant structuré par les résines. Cette structure est intermédiaire entre les structures précédentes.

Les bitumes routiers ont généralement une structure sol-gel et leur comportement rhéologique est viscoélastique.



(a) bitume type « SOL »



(b) bitume type « GEL »

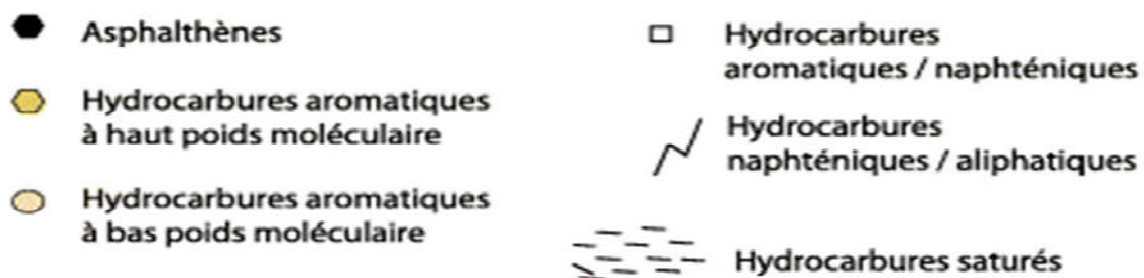


Figure I-3 : structure « SOL » « GEL »

Asphaltènes	8.8%	
Maltènes	- Saturés	2.4 %
	- Aromatiques	58.4%
	- Résines	30.3 %

Figure I-4 : Résultats d'analyse de S.A.R.A sur le bitume40/50 (NAFTAL)

Le bitume se caractérise par :

- Une couleur noire
- Inflammable aux hautes températures
- Un matériau d'étanchéité adhésif
- Manipulable à chaud Non volatil
- Rigide à température ambiante

I-4 Les bitumes modifiés :

Le bitume 40/50 de NAFTAL ne possède pas les performances requises pour être utilisé dans la construction de chaussées soumises aux conditions climatiques très rigoureuses ou à de fortes charges roulantes.

L'objectif de la modification est de produire un liant "idéal" qui devrait avoir des propriétés cohésives et adhésives améliorées et une susceptibilité thermique très faible dans toute la plage des températures d'utilisation. Les résistances à la déformation permanente, à la rupture et à la fatigue devraient être fortes, alors que la susceptibilité aux temps de charge devrait être faible. À cet effet, les chercheurs se sont fixés comme objectif de trouver des additifs plus performants, moins coûteux et faciles à incorporer dans des matrices bitumineuses. Depuis une trentaine d'années, plusieurs recherches ont été effectuées sur la modification des bitumes.

Les bitumes qui se sont avérés physiquement performant sont ceux qui sont modifiés avec des polymères. Les bitumes modifiés avec des polymères deviennent des produits commerciaux à la suite de la création des membranes qui sont fabriquées de bitume et de produits

thermoplastiques et élastomères. Ces bitumes sont largement utilisés en Europe à des fins de perméabilité [6].

Comme les bitumes modifiés avec des polymères sont plus coûteux que les bitumes non modifiés, Ils ne peuvent pas être appliqués là où ces derniers donnent satisfaction. L'application des bitumes modifiés s'étend aux aéroports, aux autoroutes, aux routes à grand trafic, à des surfaces spéciales de drainage, dans l'étanchéité, dans la construction des ponts et des tunnels, des intersections de routes et dans les aires de stationnement pour camions [6].

Outre les polymères synthétiques purs, la poudre de caoutchouc de pneus usés et les polymères provenant des déchets municipaux comme le polyéthylène et le polypropylène sont aussi utilisés comme addition pour améliorer les performances des bitumes routiers [1].

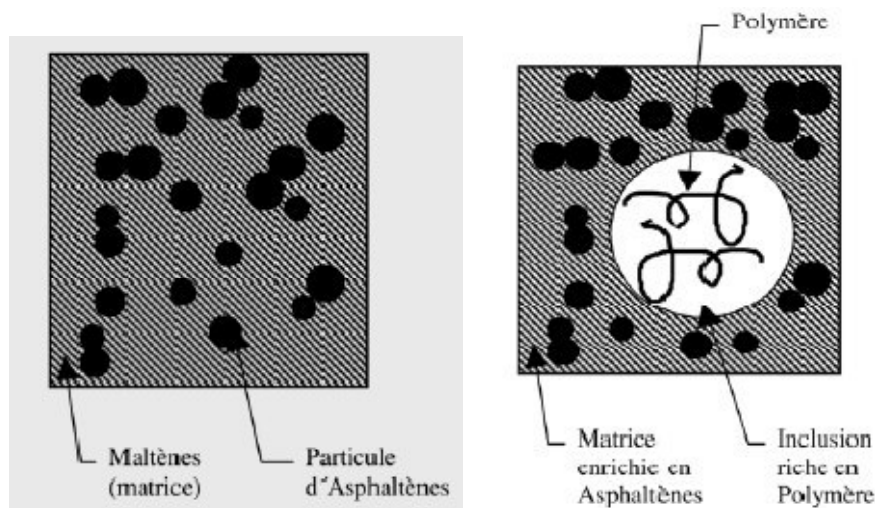


Figure I-5 : à gauche bitume pur et à droite bitume modifier aux polymères

I-4-1 les additifs :

Le rôle de l'additif est d'améliorer les caractéristiques de l'enrobé. Il en existe de nombreux types. Ils sont compatibles avec tous les grades de bitume et peuvent être incorporés dans le bitume ou introduits dans le mélange lors du malaxage. Les additifs sont utilisés pour améliorer la tenue à l'orniérage, la résistance à la dissolution au Kérosène, ainsi que l'augmentation du module de rigidité, et des additifs antibruit etc.

Les études de Radziszewski ont montré que la contribution du liant à la résistance à l'orniérage d'un enrobé est d'environ 50%.

C'est pour cela que l'amélioration du bitume par ajout de polymères se révèle être une bonne méthode pour lutter contre l'endommagement des chaussées.

Ainsi, il existe deux familles d'additifs pour la modification du bitume :

a) Les élastomères :

L'élastomère absorbe les fractions de pétrole du bitume et gonfle jusqu'à neuf fois son volume initial. A une concentration appropriée, une phase continue de polymère est formée à travers le bitume et modifie de manière significative ses propriétés. Son comportement dans le domaine élastique est amélioré par une grande résistance aux déformations [8]. Parmi les élastomères on peut citer le caoutchouc, qui mélangé à un enrobé améliore sa résistance à l'orniérage et à la fissuration.

Cependant, il peut poser des problèmes de compatibilité et nécessite de hautes températures et un temps de malaxage plus important. L'élastomère le plus utilisé est le Styrène-Butadiène-Styrène (SBS). D'après de nombreux auteurs il s'agit du polymère le plus adapté à la modification du bitume [5].

b) Les plastomères :

Les plastomères sont une classe de polymères linéaires dérivés de l'éthylène. Ils agissent différemment des élastomères: ils augmentent la viscosité et la rigidité du bitume en formant des structures en réseaux rigides résistants aux déformations. Un plastomère sous l'action d'une contrainte, peut subir une déformation élastique accompagnée d'une déformation plastique.

Les plastomères les plus utilisés dans la modification du bitume sont les Ethylène acétate de vinyle (EVA), Poly Ethylène – Co – Butyle – Acrylate (EBA). Leur utilisation reste cependant limitée car de par leur nature de plastomère ils ne permettent pas d'amélioration significative du comportement élastique d'un enrobé.

On peut observer sur les figures suivantes (Figure I-5 et figure I-6) des images de bitumes modifiés à différents dosages d'élastomères et de polymères fluorescents sous microscope.

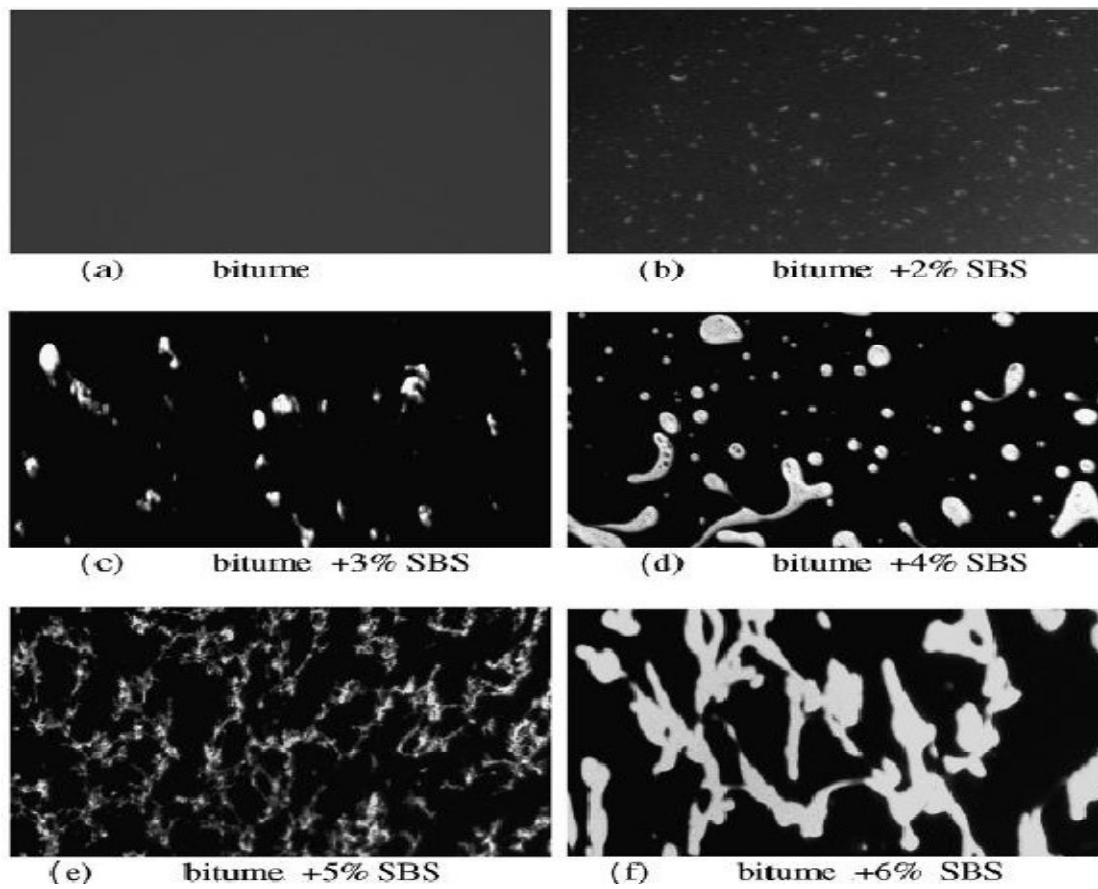


Figure I-5 : image microscope de bitume modifiées a differentes dosages de SBS

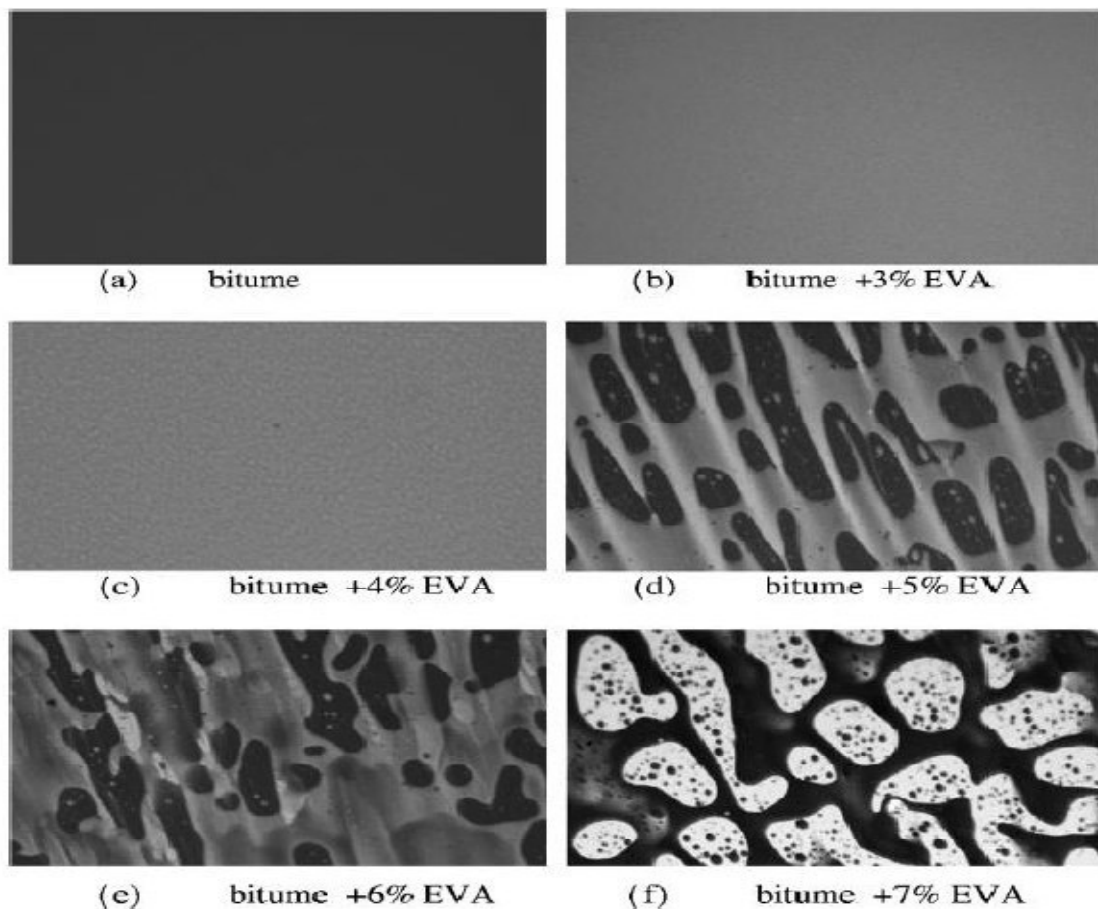


Figure I-6 : image au microscope de bitume modifiée à différents dosages de EVA

I-5 Les polymères

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs et « meros » parties soit « plusieurs Parties » ou « plusieurs unités ».

C'est une substance généralement organique, liquide ou solide à température ambiante, de Masse moléculaire élevée. Elle est caractérisée par la répétition d'un ou de plusieurs types de Motifs monomères liés les uns aux autres par des liaisons covalentes.

Le nombre moyen de monomères dans un polymère est le degré de polymérisation.

I-5-1 Copolymères :

C'est un polymère issu de la copolymérisation d'au moins deux types de monomère, chimiquement différents, appelés comonomères, il est donc formé d'au moins deux motifs de répétition. Les copolymères à enchaînement aléatoire alterne et statistique sont des matériaux homogènes.

I-6 la microstructure des polymères amorphe

I-6-1 Polymères thermoplastiques :

Beaucoup de polymères thermoplastiques ont une structure amorphe, polyéthylène basse densité (PEBD), polystyrène (PS), polyméthacrylate de méthyle (PMMA).

Les macromolécules linéaires y sont entremêlées en pelote comme des nouilles (cuites!) dans un plat. On dit qu'elles sont en désordre, mais c'est là un point de vue qui dépend de la définition de l'ordre. On prendra comme définition générale de l'ordre, le fait de pouvoir attribuer une règle d'arrangement, ou une organisation. Dans la structure amorphe, les macromolécules sont flexibles et disposées sans aucune règle, de façon aléatoire. Mais cela donne quelque chose d'assez homogène.

En général, les polymères amorphes employés sans adjonction d'autres substances sont transparents. C'est le cas, par exemple des films de polyéthylène basse densité, des boîtiers en polyméthacrylate de méthyle, des bouteilles d'eau en polytéraphthalate d'éthylène (PET). Mais le caractère de transparence n'est pas systématique, et inversement, il n'est pas systématiquement relié au caractère amorphe dans la matière.

I-6-2 Polymères thermodurcissables :

Les thermodurcissables sont généralement amorphes, comme exemple les résines polyépoxydes. En effet, les réticulations et pontages ont lieu dans toutes les directions empêchant tout ordre d'orientation, provoquant l'isotropie du matériau. Cela ressemble à un

enchevêtrement de lianes s'accrochant les unes aux autres par des tentacules en de multiples points.

I-6-3 Élastomères :

Une autre catégorie d'amorphes est constituée par les élastomères. Ce sont des caoutchoucs tels que le poly isoprène (caoutchouc naturel et synthétique) et le polybutadiène. Leur température de vitrification est en-dessous de la température ambiante de sorte qu'ils restent souples.

Les macromolécules sont emmêlées en pelote, et de plus elles sont reliées de façon assez lâche par des nœuds dont la nature varie selon les types d'élastomères. Lorsqu'on tire sur un élastomère, les molécules se déplient et s'allongent. Le rôle des nœuds est de les empêcher de glisser et de les ramener dans leur position initiale lorsqu'on relâche la tension.

I-6-3-1 Les élastomères thermoplastiques :

Les élastomères thermoplastiques sont à la fois une classe particulière d'élastomères et une classe particulière de copolymères à blocs. Dans un copolymère à blocs linéaire, si l'un des monomères est rigide (exemple le styrène), et l'autre souple (exemple isoprène ou butadiène), les blocs rigides des différentes chaînes moléculaires ont tendance à s'assembler en nœuds d'ancrage. Si l'on tire sur cette molécule, les nœuds agissent comme points de rappel. On a un élastomère. Mais comme les molécules sont linéaires, elles ont la faculté de se séparer sous l'effet de la chaleur. Le copolymère est donc thermoplastique, avec les avantages que cela représente.

Les élastomères thermoplastiques sont :

- les copolymères séquencés (ou à bloc) à base de styrène tels que le butadiène styrène (SBS) et le styrène isoprène (SIS)
- les mélanges physiques des polymères (dérivés des polyoléfines TPO).
- Les copolymères polyesters (CPE)
- Les polyuréthanes thermoplastiques (TPU).

- Les copolymères polyester-polyamide (CPA) [7].

I-7 Les copolymères SBS :

Ils sont les plus compatibles avec les bitumes et les plus répandus. Ce sont des caoutchoucs thermoplastiques ayant un caractère SBR, styrène -butadiène rubber en anglais) est un au détriment du caractère thermoplastique 50 à +80 °C diène et du styrène.

Plus la teneur en motifs buta diéniques du copolymère sera élevée, plus le caractère Il peut être mélangé à des huiles minérales chlorés.

Il est très utilisé dans la fabrication des pneumatiques : il possède une grande résistance à l'abrasion (grâce à la partie styrénique), au vieillissement et à la double liaison carbone-carbone que le caoutchouc.

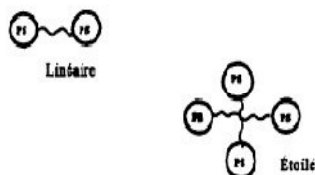


Figure I-7 Configuration des molécules de SBS

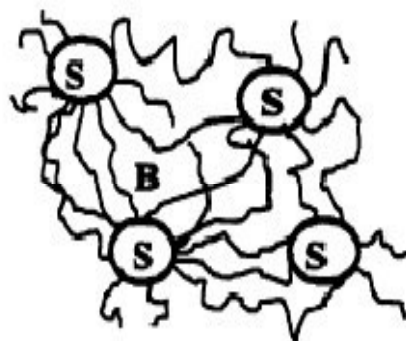


Figure I-8 : Structure du caoutchouc thermoplastique SBS

I-8 : Domaines d'utilisation :

Les bitumes modifiés sont utilisés dans différents domaines

- l'étanchéité
- les réseaux de transport d'énergie ou de fluides
- les revêtements et les équipements routiers.

- La protection des ouvrages par peinture ou revêtement plastique.
- Les appareils d'appuis.
- Les gaines pour câble de haubanage ou de précontrainte.
- Les emballages
- Le cosmétique
- Les peintures et vernis
- Les films, fibres textiles et matériaux composites.
- Les pneumatiques

I-9 : Fabrication des bitumes modifiés avec des polymères (BMP):

Différentes procédures ont été développées pour produire les bitume-polymères. Les principaux facteurs influençant le taux de dispersion des polymères dans la matrice bitumineuse sont les dimensions des particules de polymère, la température, et le cisaillement appliqué aux mélanges.

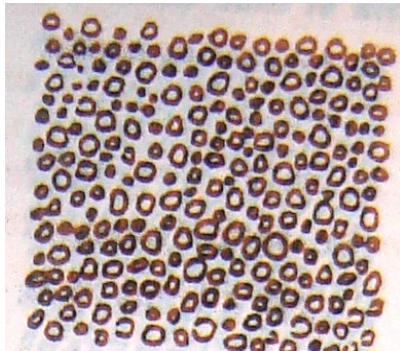
La température de mélange est généralement comprise entre 150°C et 200°C ou plus. La durée de mélange varie de quelques minutes à quelques heures. La durée optimale de mélange est atteinte quand les propriétés désirées du bitume-polymère, telles que le point de ramollissement, la pénétration et la viscosité deviennent constantes. Les BMP ne sont pas produits dans les raffineries à l'aide de moyens spéciaux, mais par des compagnies spécialisées dans la construction des routes [6].

I-10 : Le mécanisme de la modification des bitumes aux polymères :

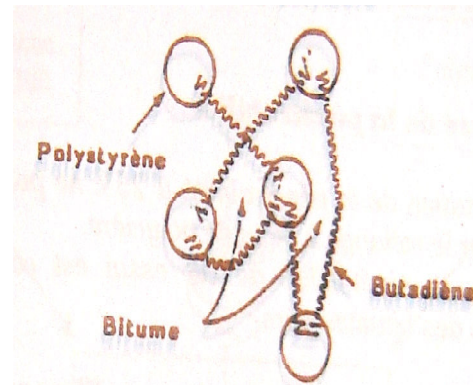
I-10-1 : comment le polymère est incorporé avec les maltènes

Lorsque le polymère est ajouté au bitume préalablement chauffé, la fraction maltène de bitume (huile) commence immédiatement à pénétrer dans les particules du polymère.

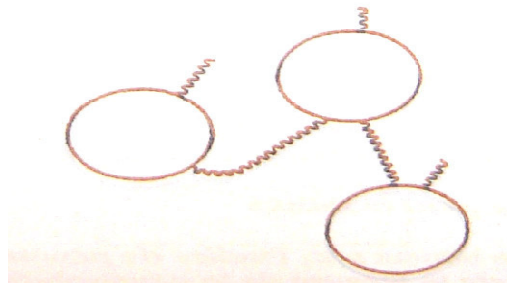
Sous l'influence du cisaillement de l'agitation, le polymère gonfle, devient mobile et se disperse dans le bitume



Etape 01 : microstructure du polymère



Etape 02 : domaine de polystyrène gonflé par le bitume



Etape 03 : dispersion ultérieure par cisaillement

Figure I-9 : mécanismes de la dispersion d'un copolymère dans le bitume

I-10-2 Comment les polymères SBS sont incorporés en asphalte :

Deux méthodes sont couramment utilisées pour incorporer des polymères dans l'asphalte:

- Ajout de latex polymère à l'asphalte. Cette méthode est relativement facile et sans problème.
- Ajout de polymères solides à l'asphalte. Cette méthode nécessite normalement un mélange substantiel et un cisaillement afin d'uniformément disperser les polymères, particulièrement lorsqu'on utilise des copolymères à blocs SBS ou SIS. À température ambiante, les matériaux SBS montrent un comportement similaire à celui d'un réseau réticulé, car le polystyrène (PS) se termine en blocs rigides, alors que le polybutadiène (PB) ou le polyisoprène (PI) agit comme des syndicats à morphes élastiques entre eux. Leur réseau « tridimensionnel » n'étant pas physique, contrairement aux autres matériaux réticulés, ils deviennent fluides à haute température, ce qui facilite leur mélange et leur traitement. Lors de l'ajout d'un polymère fonctionnalisé pour l'asphalte, des interactions spécifiques entre l'asphalte et les polymères, telles que les liaisons hydrogène, peuvent avoir lieu. En

outre, certaines réactions chimiques pourraient avoir lieu entre les groupes fonctionnels des composants des mélanges.

Ce type de copolymère réagit Pour comptabilisation réactive dans les mélanges de polymères, il y a quatre conditions qui doivent être respectées :

- mélange suffisamment forte pour assurer une dispersion d'un composant dans autres,
- la présence de groupements fonctionnels réactifs capables de réagir dans l'interface des polymères,
- la réaction devrait se produire dans le délai de résidence de polymères de l'extrudeuse,
- les liens formés devraient être stables à tout traitement ultérieur. Lorsqu'on examine le processus comptabilisation entre bitume et de polymères, tiennent également dès Le polymère modificatives devrait être suffisamment compatible avec l'asphalte comme ne pas de causer mentionnés.

I-11 : Compatibilité bitume-polymère

Les polymères ont différents degrés de compatibilités avec les bitumes, de très compatible à incompatibles. Les mélanges compatibles fusionnent parfaitement et forment une phase Homogène, les mélanges moins compatibles nécessitent un traitement mécanique à haute Température ou encore chimique, et enfin les mélanges incompatibles donnent des phases Séparées sans cohésion ni ductilité.

La compatibilité bitume-polymère dépend des facteurs suivants :

- La concentration et la taille des asphaltènes du bitume
- La concentration et la taille des molécules du polymère
- La quantité d'huiles aromatiques du bitume
- La différence des densités et masses moléculaires

Les problèmes de compatibilité ont un impact direct sur les propriétés de l'enrobé modifié, Afin d'y remédier plusieurs approches ont été étudiées, tel l'ajout d'anti oxydants, la vulcanisation au soufre ou encore l'utilisation de polymères qui réagissent chimiquement avec le bitume [9].

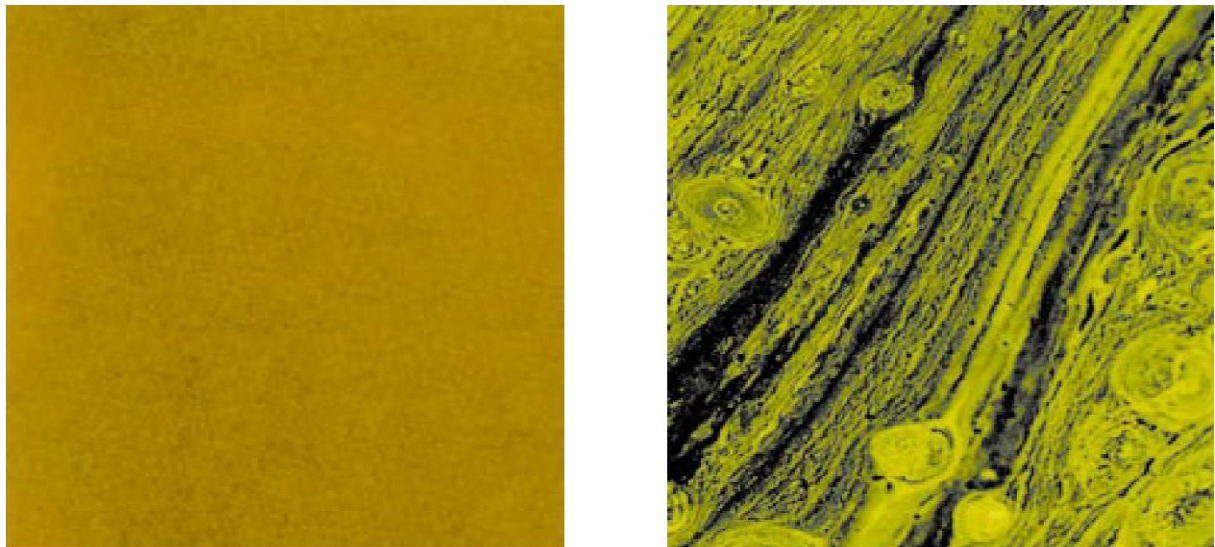


Figure I-10 : A gauche système compatible avec 4% de SBS. A droite système incompatible avec 4% de SBS [5].

Il en ressort que les bitumes modifiés par les polymères, notamment par le SBS ont des propriétés meilleures que celles des bitumes ordinaires.

Cependant les conditions d'utilisation qui sont souvent sévères (température élevée en saison estivale et charges importantes (engins roulants) demandent un contrôle rigoureux des propriétés d'exploitation de ces bitumes modifiés.

Chapitre II

II-1 Identification du bitume polymère :

II-1-1 le bitume :

Le bitume utilisé un bitume (figure II-1) de classe 40/50 dont le tableau ci-dessous représente les résultats de caractérisations effectuées sur bitume NAFTAL

Tableau II-1 : Résultats effectuée sur bitume NAFTAL

Pénétrabilité	Point de ramollissement
48.5 /10eme mm	50 (°c)



Figure II-1 : Bitume a température ambiante

II-1-2 Le bitume modifié

Matériau bitumineux dont la composition a été modifié chimiquement ou physiquement par l'addition de produits destinés à accroître ses performances.

II-1-3 Les polymères utilisés :

II-1-3-1 Styène –butadiène -styène (SBS)

Caoutchouc synthétique compose de polymères : Styène, Butadiène, Styène. Confère notamment au bitume ses propriétés d'élasticité, de souplesse à froid, de résistance au fluage, et de durabilité.

Dans cette étude nous avons étudié les caractéristiques du bitume modifié avec deux types de SBS :

1 – SBS provenance de l'Italie(figure II-2)

2 – SBS provenance d'Espagne(figure II-3)



Figure II-2 : SBS Italie

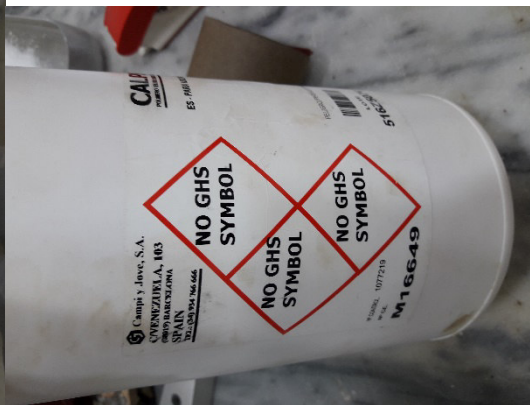


Figure II-3 : SBS Espagne

II-1-3-2 Poly (Ethylene –Co –Butadiene -Acrylate) (EBA)

Matière synthétique compose de copolymères éthylène thermoplastique, plastomères, permet d'améliorer : la résistance, la stabilité et la rigidité, flexibilité au froid. (Figure II-3)

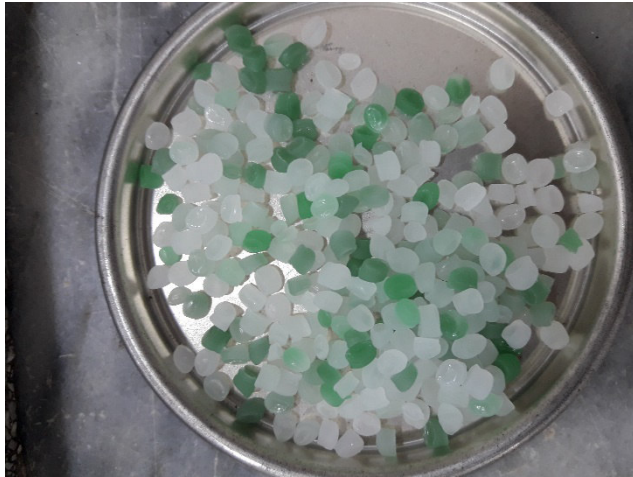


Figure II-4 : le plastomère EBA

II-2 Méthodes de caractérisation physique mécanique des bitumes-polymères

II-2-1 : L'essai Pénétrabilité a l'aiguille d'un produit bitumineux (NF EN 1426) :

II-2-1-1 : Définition :

La pénétrabilité est la mesure de la profondeur d'enfoncement d'une aiguille dont la géométrie et l'état de surface sont fixés (diamètre=5mm et angle du cône de 9°), sous une charge de 100g pendant 5s. Elle est exprimée en 1/10ème de mm. Cette valeur sert à classer les bitumes



Figure II-5: Dispositif de mesure de la pénétrabilité

II--2-1-2 Mode opératoire :

- 1) Préparer le gobelet ainsi que l'échantillon de bitume en le chauffant tout en agitant pendant 2 heures pour l'obtention d'un mélange homogène (bitume + polymère) à une température de 180° à l'aide d'un thermomètre (figure II-6).



Figure II-6 : Mesure de température de mélangé (188 °c)

- 2) Remplir soigneusement le gobelet avec le bitume modifié puis laisser refroidir à une température ambiante pendant 1 heure 30 min (figure II-7).



Figure II-7 : Gobelets remplis de bitume-polymère

- 3) Mettre le gobelet rempli dans un bain marie à 25°C pendant 1 heure 30 min (figure II-8).



Figure II-8 : Refroidissement du bitume-SBS dans un bain marie

- 4) Retirer le gobelet au terme de la durée de conservation dans l'eau, placer l'échantillon sous l'appareil de pénétrabilité

5) Effectuer les mesures

II-2-2 : L'essai du point de ramollissement (Méthode de bille et anneaux)

Norme NF EN 14 27 JUIN 2007

II-2-2-1 Définition :

Un disque de bitume est coulé dans un anneau de 19mm de diamètre interne, on place une bille en acier de masse de 3.5g et de diamètre 9.5mm sur cet anneau. L'ensemble est placé dans un bécher, rempli d'eau à 5°C. On élève la température a un taux de(5°C par minute) le disque de bitume se ramollit et lorsque la bille le traverse, on note l'indication du thermomètre, Cet essai est un bon indicateur du comportement du bitume aux hautes températures de service.



Figure II-9 : L'appareil de point de ramollissement

II-2-2-2 Mode opératoire :

- 1) Mélanger les bitumes modifiés à une température 180°C pour obtenir un mélange homogène
- 2) Remplir soigneusement les deux anneaux avec des bitumes pendant cette opération les deux anneaux vent reposer sur une plaque enduite d'un agent démoulet de glycérine puis verser le bitume modifie sur les anneaux et laisser refroidir à la température pendant 30 min (figureII-10)



Figure II-10 : Anneaux remplis de bitume-SBS chaud

- 3) Après le refroidissement enlevé excédent de liant avec une lame chauffée pour que chaque échantillon de l'essai soit de niveau (figure II-11)



Figure II-11 : Bitume-SBS refroidi

- 4) Assembler l'appareillage avec des anneaux le thermomètre et les guides en position correcte est remplir le vase avec de l'eau distillée, maintenir pendant 15 min a une température de 5°
- 5) Placer les billets au centre de chaque guide (figure II-12)

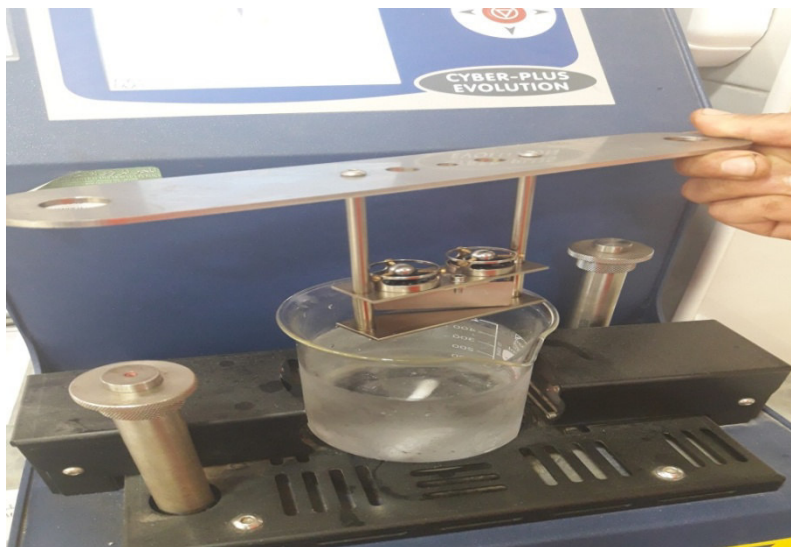


Figure II-12 : Disposition du bitume-SBS sur le guide

- 6) Chauffer de façon à élever la température de 5°C PAR MIN (figure II-13)

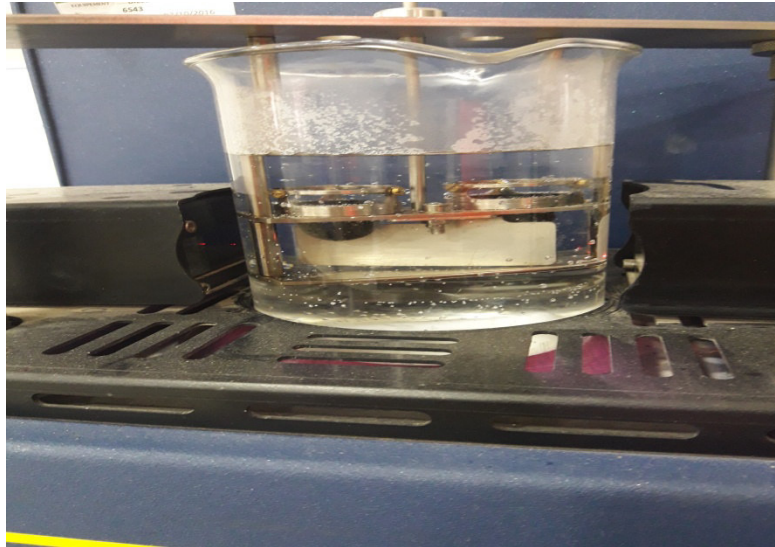


Figure II-13 : Chauffage graduel des échantillons de bitume-SBS

7) Noter pour chaque ensemble bille et anneau, la température par thermomètre par laquelle l'échantillon enveloppant les bille touche la plaque inférieur de support

8) Noter la température consistance (point de ramollissement) (figure II-14)



Figure II-14 : Affichage de résultats d'essai

9) Si la température du bitume-SBS est supérieur à 80 °c, substituer l'eau par la glycérine cettedernière est chaufféeà une température de 30°c (figure II-15)



Figure II-15 : Flacon de glycérine place dans le dispositif de mesure de point de ramollissement

II-2-3 : L'essai de ductilité (NA 5223):

II-2-3-1 Définition :

La ductilité d'un bitume est une caractéristique complexe qui tient compte de la viscosité et de la cohésion, Un bitume est ductile, à une certaine vitesse, lorsqu'il peut être étiré à cette vitesse, et à une certaine température, sans se rompre, en effet, une éprouvette est moulée dans des conditions et dimensions normalisées. L'éprouvette est ensuite amenée à la température normalisée de l'essai, et étirée selon un taux de vitesse déterminé jusqu'à ce que le fil reliant les deux bouts se coupe. L'allongement en centimètres, au moment où le fil du matériau se coupe, est désigné comme étant la ductilité. Mesure par le ductilimetre (figure II-16)

Et pour un bitume modifié on détermine le retour élastique.

II-2-4 L'essai de Retour élastique (EN 13398)

II-2-4-1 Définition :

Le retour élastique d'un bitume modifié est un indicateur qui permet de caractériser la capacité du liant à retrouver ses caractéristiques géométriques d'origine à la suite d'une déformation.

Il est déterminé à l'aide d'un essai de laboratoire utilisant un appareillage ductilimètre.

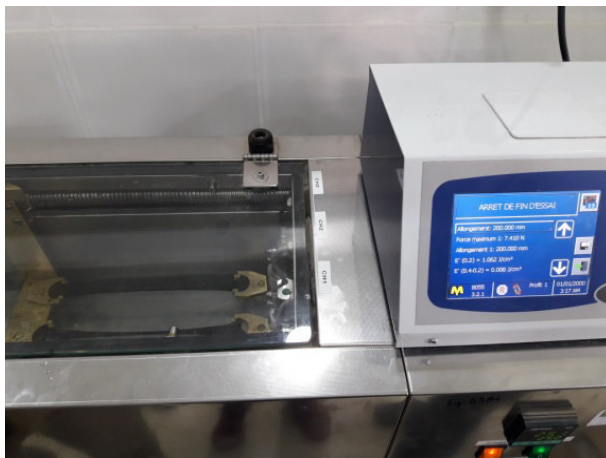


Figure II-16 :Ductilimetre

II-2-4-2 Mode opératoire :

- 1) Malaxer le bitume modifié à fin d'obtenir un mélange homogène (figureII-17)



Figure II-17 : Malaxeur de bitume-SBS

- 2) Mettre l'agent démoulant sur les plaques d'éprouvette puis en verse les échantillons (figure II-18)



Figure II-18 : Moules pour la confection d'éprouvettes

- 3) Laisser refroidir pendant 1 heure 30 min
- 4) Mettre les éprouvettes en bain marie à une température ambiante de 25 °c pendant 30 min (figure II-19)

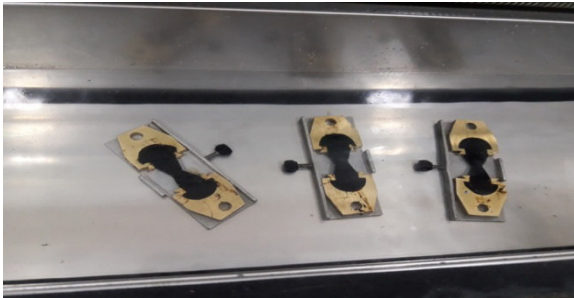


Figure II-19 : Moule + éprouvette dans un bain marie

- 5) Placer l'éprouvette au ductilimetre (figure II-20)



Figure II-20 : Les éprouvettes placées dans le ductilimètre

- 6) Mettre le ductilimetre en fonction afin d'avoir l'allongement d'échantillon $d=200$ mm (figure II-21)



Figure II-21 : Eprouvettes de bitume étirées jusqu'à un allongement de 200 mm

- 7) Couper l'échantillon au milieu (100) mm (figure II-22)



Figure II-22 : Découpe des échantillons

- 8) Laisser reposer 30 min afin de déterminer le retour élastique (figure II-23)

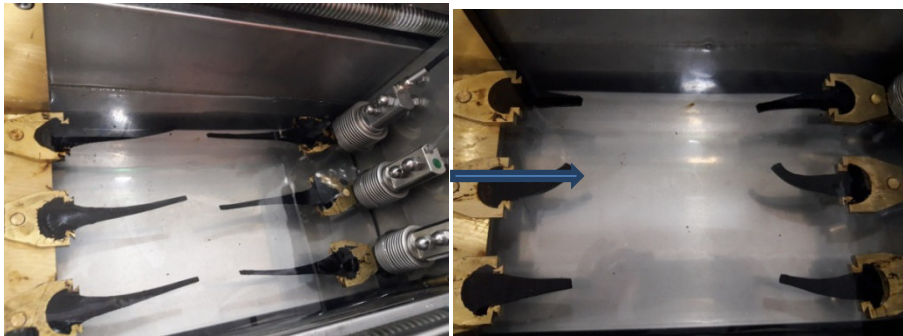


Figure II-23 : Retour élastique des éprouvettes coupées

- 9) Mesurer le retour élastique à l'aide d'une règle

- 10) Appliquer l'équation suivante pour le calcul du retour élastique

$$re = \left(\frac{r_0 - r_1}{r_0} \right) \cdot 100$$

II-2-5 Essai Fraass (EN 12593) :**II-5-1 Définition :**

Le point de fragilité FRAAS est un indicateur permettant de caractériser la fragilité du bitume à basse température, il consiste à mesurer la température à laquelle apparaissent des fissures sur un film étalé sur une lame soumise à des flexions successives. Plus le point Fraas est élevé, plus le bitume est fragile. Cet essai permet de caractériser le maintien de l'élasticité du bitume lorsque la température baisse.

II-2-6 Stabilité au stockage NF EN 13399 Mai 2010 :**II-2-6-1 Principe :**

Un échantillon homogène de bitume modifié est maintenu dans un récipient vertical à la température de 180 °C, ou à une température prescrite par le producteur, pendant trois jours. Après refroidissement de l'échantillon, cet échantillon est divisé en trois parts égales. Les deux portions extrêmes (supérieure et inférieure) sont ensuite analysées pour évaluer des différences éventuelles de leurs caractéristiques.

Si la température choisie diffère de 180 °C, il doit en être fait mention dans le rapport d'essai.

II-2-6-2 Mode opératoire :

- 1) Mélanger le bitume modifié afin d'homogénéisation
- 2) Verser le mélange dans des tubes en aluminium (canette) en veillant à éviter les bulles d'air
- 3) Fermer les tubes et les poser dans l'étuve préalablement chauffée à (180°C) en position verticale pendant 72h (figure II-24)



Figure II-24 : Eprouvette pour l'essai de stabilité au stockage

- 4) Faire sortir les tubes d'étuve et laisser refroidir à température ambiante
- 5) Placer les tubes dans une chambre froide pendant 30min a (-20°C)
- 6) Sur une plaque couper l'échantillon en trois partie et garder la partie supérieur et inférieur (figure II-25)



Figure II-25 : Prélèvement d'éprouvettes pour l'essai de stabilité au stockage

- 7) faire l'essai de caractérisation point de ramollissement NF EN 14 27 JUIN 2007 pour la partie A et B

Conclusion

La modification du bitume par le polymère dépend de trois facteurs essentiels :

- ❖ Température de mélange.
- ❖ Taux de cisaillement.
- ❖ Temps du mélange

Chapitre III

III Introduction :

Dans cette partie nous présentons les résultats de caractérisation physico-mécanique des bitumes-polymères et leurs interprétations.

III-1 : La Pénétrabilité :

Le tableau III-1 regroupe les résultats des essais de pénétrabilité obtenus pour différents taux de polymères : 4% ; 6% ; 8%

Tableau III-1 : Résultats de point pénétrabilité

Pénétrabilité (1/10 mm)				
	Bitume pur NAFTAL	EBA SBS	SBS (Italie)	SBS(Espagne)
0% de PM	48.5	-	-	-
4% de poly	-	38.4	32.6	24.2
6% de poly	-	25.1	24.9	22.1
8% de poly	-	E.N.E*	22.5	21.4

* Echantillon non exploitable.

Les résultats des essais de pénétrabilité sont représentés sur le graphe (figureIII-1)

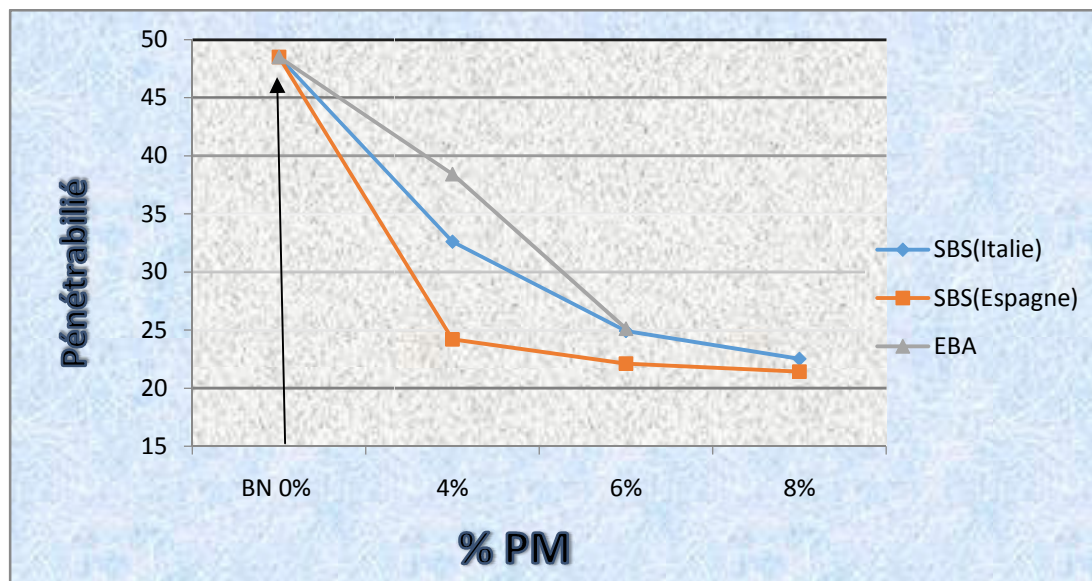


Figure III-1 : variation de la pénétrabilité en fonction des pourcentages des polymères

L'analyse de ces résultats permet de conclure :

- ❖ La pénétrabilité du bitume non modifié a une valeur de 48.5/10mm qui correspond à la classe de bitume 40/50 (NAFTAL) selon la norme EN 12591/NA 5265.
- ❖ La pénétrabilité du bitume modifié diminue à différents niveaux selon le type de polymères.
- ❖ A 4% avec le SBS (Espagne), la pénétrabilité a baissé jusqu'à 24.2/10mm. par rapport aux deux autres polymères à savoir, SBS Italie 32.6 10/mm et EBA 38.4 10/mm
- ❖ A 6% la pénétrabilité a continué sa baisse relativement pour les (03) trois polymères néanmoins cette abaissement moins importante par rapport à celui de 4%.
- ❖ A 8% la pénétrabilité reste plus au moins stable par rapport à celui de 6%.

Conclusion :

- On constate qu'à partir d'une certaine concentration de polymères % la pénétrabilité n'évolue pas, pas de manière importante (saturation du mélange).
- Donc la relation entre la pénétrabilité et la concentration du polymère n'est pas linéaire.
- Un intervalle entre 4% et 6% est suffisant pour abaisser la pénétrabilité.
- Le SBS (Espagne) donne un meilleur résultat, cela s'explique par la bonne compatibilité avec bitume NAFTAL.

III-2 : Point De Ramollissement :

Les résultats d'essai de point de ramollissement des différentes bitumes modifiés sont présenté dans le tableau III-2 et graphe (figure III-2)

Tableau III-2 : Résultats de point de ramollissement

TBA (°C)				
	Bitume pur NAFTAL	EBA SBS	SBS (Italie)	SBS(Espagne)
0% de PM	50	-	-	-
4% de poly	-	59.6	61.5	66.6
6% de poly	-	72.2	77	87
8% de poly	-	E.N.E	80	91.1

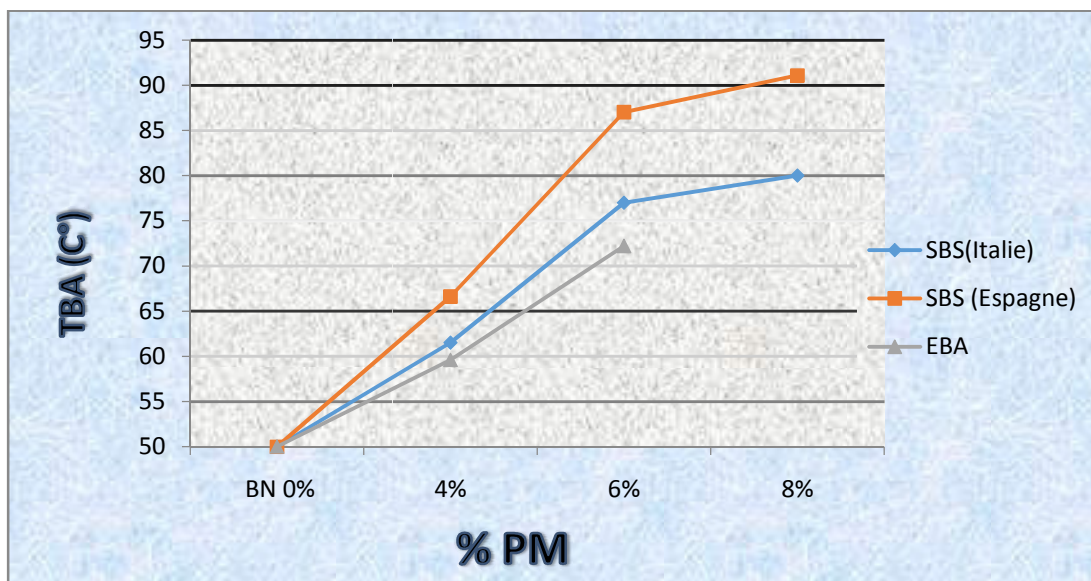


Figure III-2 : variation de la TBA en fonction des pourcentages des polymères

Remarque

- on remarque le point de ramollissement des bitumes modifiés par les polymères augmente en fonction du taux de polymères ajouté.
- Le SBS (Espagne) s'est montré le plus efficace
- Pour un taux de 4% le bitume modifié avec le SBS (Espagne), a atteint une valeur de 66.6°C. ce qui permet de le classer parmi des bitumes de classe 4 selon la norme EN 14023 ; cette classe est la plus adaptée aux conditions climatique en Algérie
- Avec le même pourcentage, pour les deux autres polymères le point de ramollissement a atteint une valeur de 60°C.
- Une relation proportionnelle entre le pourcentage de polymères et le point de ramollissement, jusqu'à une stagnation à partir d'un intervalle de 4 à 6%.
C'est la plage la plus adaptée aux conditions climatique de l'Algérie

III-3 : Retour Élastique :

Les résultats d'essai de retour élastique des bitumes modifiés sont présentés dans le tableau III-3 et le graphique (figure III-3)

Tableau III-3 : Résultats de retour élastique

Retour élastique (%)			
	EBA SBS	SBS (Italie)	SBS(Espagne)
4% de poly	61.33	75	82
6% de poly	66	80.5	86.33
8% de poly	E.N.E	86.3	92.16

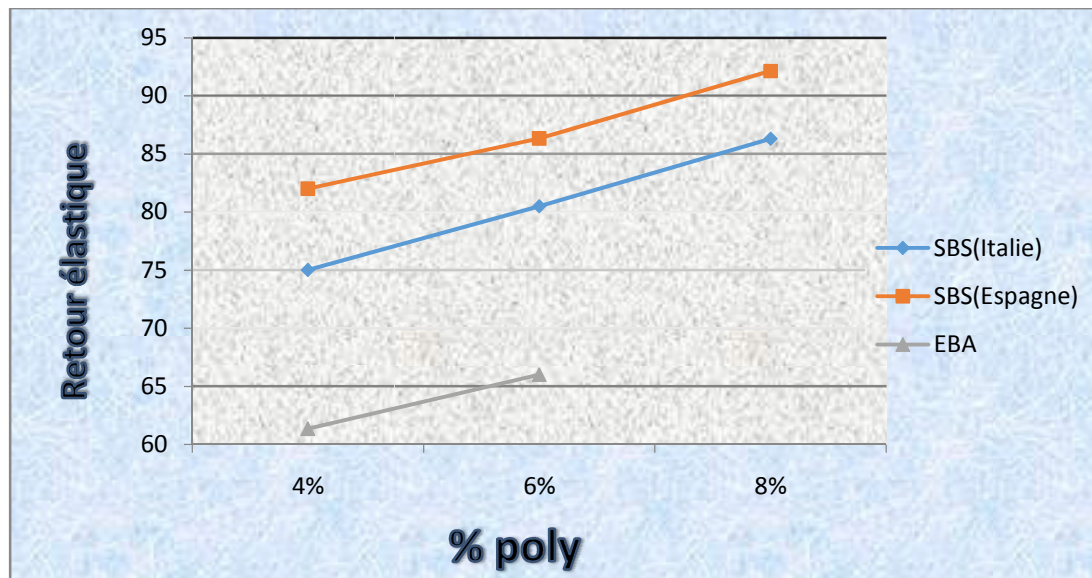


Figure III-4 : variation de retour élastique en fonction des polymères

L'analyse de ces résultats permet de conclure que :

- A 4% de SBS(Espagne) donne le meilleur retour élastique 82% au bitume, soit 34% de plus que le plastomère EBA qui présenté moins d'efficacité. (la limite à atteindre exigée par la classe 2 de la norme EN 14023).
- L'élastomère SBS donne 34% de plus du retour élastique que le plastomère EBA.
- Ce paramètre assure a l'enrobé une bonne résistance a la fissuration par retrait thermique et surtout par la fatigue.
- Aussi d'une manière indirecte il permet une meilleur résistance de l'enrobe a l'orniérage

III-4 : La Stabilité Au Stockage :

Les résultats d'essai de stabilité au stockage des bitumes modifiés sont présentés dans le tableau III-4

Tableau III-4 : Résultats de stabilité au stockage

Stabilité au stockage (TBA (°c))			
	EBA SBS	SBS (Italie)	SBS(Espagne)
4% de poly	A=69.4 B=69.9	A=70.9 B=71.1	A=73.1 B=74.5
6% de poly	A=71.3 B=70.9	A=75.9 B=75.4	A=75.3 B=75.3
8% de poly	E.N.E	A= 73.7 B=73.9	A=80 B=80.9

La valeur A-B <2 exigé à la norme de classe 2

Remarque :

L'essai de stabilité au stockage est concluant pour l'ensemble de test effectués avec différentes pourcentages de polymères.

On peut expliquer ce bon résultat par les conditions de fabrication du BMP à l'échelle laboratoire dans lequel tous ces paramètres sont maîtrisés. Par contre le phénomène de stabilité au stockage est beaucoup plus sérieux dans la modification du bitume à l'échelle industrielle (stabilité au stockage est plus sensible au volume du produit stocké).

Conclusion :

L'analyse de résultats de caractérisation physico-mécanique des bitumes modifiés aux polymères a montré les points suivants :

- Les élastomères SBS (Styrène- Butadiène- Styrène) sont plus compatibles avec les bitumes par rapport aux plastomères EBA (Polyéthylène –Co-Butyle-Acrylate).
- Un intervalle de [4 à 6]% du polymère, auquel le BMP donne une meilleure performance en pénétrabilité et point de ramollissement,
- Au-delà de 6% de polymère on constate une stagnation des performances voire un effet inverse sur la qualité du BMP.
- Un bitume modifié avec 4% de polymères types SBS (Espagne) donne une meilleure performance et un rapport qualité/prix raisonnable sur le marché.
- Bien que les résultats obtenus aient confirmé la performance des bitumes modifiés par SBS (Espagne), il serait souhaitable de procéder à des essais sur les enrobés à base de BMP, pour voir le comportement performantiel de bitume modifié aux polymères sur la chaussée la route (orniérage, fatigue, ... etc.).

Références Bibliographiques

[1] La rhéologie des bitumes: Principes et Modification, Didier Lesueur, Rhéologie, Vol.2, 1-30 (2002)

[2] ABABSA Moussira : « valorisation des mélanges bitume-polymère par le procédé de lapyrolyse », soutenance de magister, soutenue le 29/01/2006, chimie des matériaux p 3-11(CULarbi Ben M'hidi Oum Elbaouaghi)

[3]BELABED Saida et ZerouelNacira « fluage des enrobés bitumineux avec ajout d'unpolymère » projet de fin d'étude USTHB FGC 2006

[4] ReikiZahia,RabahAmel ; optimisation de de la qualité de bitume oxyde sur les matières d'étanchéité

[5] Becker, Y, Mendez, M. P., & Rodriguez, Y. Polymer modified asphalt. In Vision Tecnologica. 2001

[6] Olga Solomatnikova, Comportement rhéologique et propriétés cohésives et Adhésives desliants bitumineux, thèse (189p), Université Laval Avril 1998

[7]HADJIRA Haidar et AKLI Younsi « influence de la granularité du polymère dans lamodification des bitumes » projet de fin d'études USTHB FGC 2007

[8] YVES Mouton ; « matériaux organiques pour le génie civil : approche physicochimique »
Hermès science publications ; Octobre 2003 »

[9] Zhu, J., Birgisson, B., & Kringos, N. Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. EuropeanPolymer Journal, 54, 18-38, 2014.

[10] Bitume info .com.

Norme Française EN 1426Pénétrabilité a l'aiguille d'un produit bitumineux

Norme NF EN 14 27 JUIN 2007point de ramollissement (Méthode de bille et anneaux)

Norme NA 5223 ductilité

Norme (EN 13398)Retour élastique

Norme EN 13399 Mai 2010 Stabilité au stockage

Norme EN 12593)Essai Fraass

Mémoires :

1. BOUGHAMSA, W. (2008). Les bitumes modifiés par des polymères. Thèse de magister : Géo-matériaux. Skikda : Université de Skikda. 77 p.

2. Askri, N. (1998). Étude technico-économique des projets d'implantation de forages d'exploitation. Mémoire fin de cycle DEUA : Gestion industrielle. Boumerdes: Ex INH. 53 p.

Webographie :

1. <http://www.memoireonline.com/>

2. <http://www.naftal.dz/fr/>

3. <http://www.wikipedia.org/>

Annexe

Tableau 1- Cadre de spécifications relatives aux exigences essentielles et aux classes de bitumes modifiés des polymères

Exigence ESSENTIELLE	CARACTERISTIQUE	METHODE D'ESSAI	UNITE	Classe relatives aux exigences essentielles des bitumes modifiés par des polymères										
				0 ^{a)}	1 ^{b)}	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistance à température Intermédiaire de service	Pénétrabilité à 25°C	EN 1426	0.1mm		TBR	10-40	25-55	45-80	40-100	65-105	75-130	90-150	120-200	200-300
Consistance à température élevée de service	Température de ramollissement	EN 1427	°C		TBR	≥80	≥ 75	≥ 70	≥ 65	≥ 60	≥ 55	≥ 50	≥ 45	≥ 40
	Force- ductilité ^{c)} (Traction à vitesse lente)	EN 13589 Suivie par EN 13703	J/cm ²	NPD	TBR	≥ 3 à 5 °C	≥ 2 à 5 °C	≥ 1 à 5 °C	≥ 2	≥ 2				
Cohésion ^{c)}	Essai de traction à 5°C ^{c)} (Traction à vitesse élevée) ou	EN 13587 Suivie par EN 13703	J/cm ²	NPD	TBR	≥ 3	≥ 2	≥ 1	-	-	-	-	-	-
	Mouton-pendule ^{c)} (Essai de choc)	EN13588	J/cm ²	NPD	TBR	≥ 0.7	-	-	-	-	-	-	-	-
Durabilité ^{d)} (Résistance au durcissement, EN 12607-1 ou-3)	Variation de masse	EN 12607-1 EN 12607-3	%	NPD	TBR	≤ 0.3	≤ 0.5	≤ 0.8	≤ 1.0	-	-	-	-	-
	Pénétrabilité restante	EN 1426	%	NPD	TBR	≥ 35	≥ 40	≥ 45	≥ 50	≥ 55	≥ 60	-	-	-
	Augmentation du point de ramollissement	EN 1427	°C	NPD	TBR	≤ 08	≤ 10	≤ 12	-	-	-	-	-	-
Autres caractéristiques	Point d'éclair ^{e)}	EN ISO 2592	°C			≥ 250	≥ 235	≥220	-	-	-	-	-	-

a) Sachant que le système de classe s'appuie sur la consistance aux températures intermédiaires et élevées de service, les valeurs de ces caractéristiques doivent être indiquées.

b) La classe 1, option TBR, ne doit être utilisée ni pour les déclarations réglementaires ni pour le marquage.

c) Pour la cohésion, une seule méthode doit être choisie en fonction de l'utilisation finale.

d) Résistance au durcissement : en cas de litige, seul le RTFLOT (voir l'EN 12607-1) doit être utilisé.
Voir 5.1.5 la résistance au durcissement ne convient pas aux bitumes pour enduire superficiel d'usure.

e) Pour des raisons de sécurité, les classes 0 et 1 ne doivent pas être utilisées pour le point d'éclair.

Source :NAFTAL

Tableau2- Cadre de spécialisations relatives aux exigences complémentaires et aux classes de bitumes modifiés par des polymères.

EXIGENCES THECHNIQUE	METHODE D'ESSAI	UNITE	Classes relatives aux exigences techniques des bitumes modifiés par des polymères										
			0	1 ^{a)}	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Point de fragilité Fraass	EN 12593	°C	NPD	TBR	≤ 0	≤- 5	≤- 7	≤- 10	≤- 12	≤- 15	≤- 18	≤- 20	≤-22
Retour élastique à 25°C	EN 13398	%	NPD	TBR	≥ 80	≥ 70	≥ 60	≥ 50	-	-	-	-	-
Retour élastique à 10°C	EN 13398	%	NPD	TBR	≥ 75	≥ 50	-	-	-	-	-	-	-
Intervalle de plasticité	EN paragraphe 5. 1.9	°C	NPD	TBR	≥ 85	≥ 80	≥ 75	≥ 70	≥ 65	≥ 60	-	-	-
Stabilité au stockage ^{b)}	EN 13399												
Différence de point de pénétrabilité	EN 1427	°C	NPD	TBR	≤ 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Stabilité au stockage ^{b)}	EN13399												
Différence de pénétrabilité	EN 1426	0.1 mm	NPD	TBR	≤ 9	≤ 13	≤ 19	≤26	-	-	-	-	-
Diminution du point de ramollissement après l'EN 12607 -1 ou -3	EN 1427	°C	NPD	TBR	≤ 2	≤ 5	-	-	-	-	-	-	-
Retour élastique à 25 °C après l'EN 12607-1 ou-3	EN 13398	%	NPD	TBR	≥ 70	≥ 60	≥ 50	-	-	-	-	-	-
Retour à 10 après l'EN 12607-1 ou 3	EN 13398	%	NPD	TBR	≥ 50	-	-	-	-	-	-	-	-
<p>NOTE : Le fournisseur de bitume modifié par des polymères peut communiquer les données suivantes dans la fiche technique du produit :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la dispersion des polymères (voir l'EN 13632 [5]) ; - la solubilité (voir l'EN 12592 [4] en utilisant le solvant approprié indiqué par le fournisseur) - les températures de manipulation ; - les températures minimales de stockage et de pompage ; - les températures maximales et minimales d'enrobage ; Il convient à titre de comparaison, d'utiliser l'EN 13702-1 ou l'EN 13702-2 - la masse volumique (voir l'EN ISO 3838). 													
<p>a)- La classe 1, option TBR, ne doit être utilisée ni pour les déclarations réglementaires ni pur le marquage.</p> <p>b) Si aucune donnée n'est fournie sur l'essai de stabilité au stockage (voir l'EN 13399) , le fournisseur doit donner des informations sur les conditions de stockage du bitume modifié par des polymères pour éviter que les composants ne se séparent.</p>													

Source :NAFTAL